



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 196 33 527 C 2

51 Int. Cl.⁷:
G 01 R 31/02
H 02 H 7/26

21 Aktenzeichen: 196 33 527.2-35
22 Anmeldetag: 9. 8. 1996
43 Offenlegungstag: 12. 2. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 8. 2. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Jurisch, Andreas, Dr., 13587 Berlin, DE; Kereit,
Matthais, Dipl.-Ing., 12159 Berlin, DE; Sezi, Tefvik,
Dr., 12169 Berlin, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

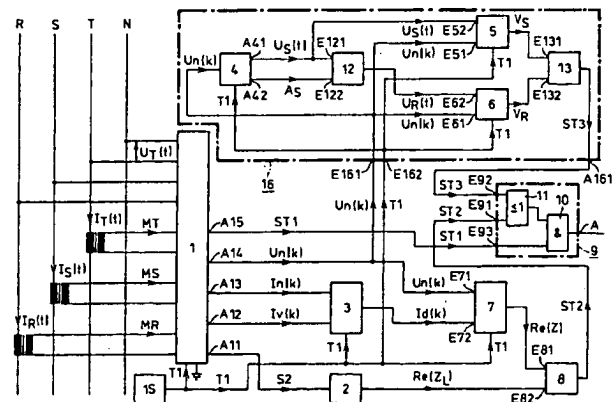
DE 25 32 213 C2
DE 24 56 073 C3
DE 40 29 141 A1
EP 02 84 546 B1

CLEMENS, H., ROTHE, K.: Schutztechnik in
Elektronennergiesystemen. VDE-Verlag Berlin
S.174;

54 Verfahren zum Erzeugen eines einen Lichtbogenfehler kennzeichnenden Fehlerkennzeichnungssignals

57 Verfahren zum Erzeugen eines Fehlerkennzeichnungssignals, das einen an einer Kurzschlußstelle einer mehrphasigen elektrischen Energieübertragungsleitung aufgetretenen Kurzschluß als Lichtbogenkurzschluß kennzeichnet, wobei bei diesem Verfahren

- beim Auftreten eines Kurzschlusses eine an einer Meßstelle der Energieübertragungsleitung erfaßte spannungsproportionale Meßgröße und eine an dieser Meßstelle erfaßte stromproportionale Meßgröße abgetastet werden und entsprechende Spannungsabtwerte ($U_n(k)$) und Stromabtwerte ($I_n(k)$) gespeichert werden und
- durch Auswertung der Spannungs- und Stromabtwerte das Fehlerkennzeichnungssignal gewonnen wird, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Energieübertragungsleitung auf das Auftreten eines Kurzschlusses in einer einzigen Phase oder zwei Phasen ohne Erdberührung überwacht und im Falle eines solchen Kurzschlusses ein Steuersignal (ST1) erzeugt wird,
- die Spannungsabtwerte ($U_n(k)$) und die Stromabtwerte ($I_n(k)$) zur Bildung einer Impedanzmeßgröße (Z) herangezogen werden,
- aus einem für die Energieübertragungsleitung bekannten längenbezogenen Leitungswiderstand und der gemessenen Entfernung zwischen der Meßstelle und der Kurzschlußstelle eine dieser Entfernung entsprechende Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) erzeugt wird,
- ein weiteres Steuersignal (ST2) erzeugt wird, wenn der Realteil ($Re(Z)$) der Impedanzmeßgröße (Z) größer als eine Widerstandsmeßgröße ist, wobei die Widerstandsmeßgröße dem Realteil ($Re(Z_L)$) der Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) entspricht oder aus der Summe des Realteils ($Re(Z_L)$) der Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) und einem ermittelten Lichtbogenwiderstandsmeßwert (R_L) gebildet ist, und
- das Fehlerkennzeichnungssignal gebildet wird, wenn beide Steuersignale (ST1) und (ST2) erzeugt wurden.



DE 196 33 527 C 2



DE 196 33 527 C 2

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen eines Fehlerkennzeichnungssignals, das einen an einer Kurzschlußstelle einer mehrphasigen elektrischen Energieübertragungsleitung aufgetretenen Kurzschluß als Lichtbogenkurzschluß kennzeichnet, wobei bei diesem Verfahren beim Auftreten eines Kurzschlusses eine an einer Meßstelle der Energieübertragungsleitung erfaßte spannungsproportionale Meßgröße und eine an dieser Meßstelle erfaßte stromproportionale Meßgröße abgetastet werden und entsprechende Spannungsabastwerte und Stromabastwerte gespeichert werden und durch Auswertung der Spannungs- und Stromabastwerte das Fehlerkennzeichnungssignal gewonnen wird.

In der deutschen Offenlegungsschrift DE 40 29 141 A1 wird ein Verfahren zum Ermitteln einer Kurzschlußimpedanz einer zu überwachenden elektrischen Energieversorgungsanlage beschrieben. Bei diesem Verfahren werden Koeffizienten einer Systemmatrix x_i und einer Systemmatrix x_u eines vorgewählten Modells einer elektrischen Energieversorgungsanlage berechnet, wobei die Netzfrequenz der zu überwachenden Anlage und eine vorgewählte zeitliche Abfolge von Abastwerten einer dem Strom und einer der Spannung in der Anlage proportionalen Meßgröße berücksichtigt werden. Dem Modell zugrundegelegt ist der Ansatz, daß sich die Kurzschlußspannung $U(t)$ durch folgende Gleichung darstellen läßt:

$$U(t) = p_{u1} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) + p_{u2} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) + p_{u3},$$

wobei p_{u3} ein Zusatzelement bezeichnet, das den Einfluß eines Lichtbogens kennzeichnet. Um die Parameter p_{u1} , p_{u2} und p_{u3} zu bestimmen, werden die Parameter ausgehend von Startwerten durch rekursive Schätzung ermittelt, wobei die Iteration abgebrochen wird, wenn ein vorgegebener kleinster Fehlervektor der Parameter unterschritten wird. Die Größe des Zusatzelementes p_{u3} dient bei diesem Verfahren als Kriterium für das Erzeugen eines Fehlerkennzeichnungssignals. Es wird erzeugt, wenn das Zusatzelement p_{u3} einen bestimmten Schwellenwert überschreitet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein relativ einfaches und vergleichsweise schnellarbeitendes Verfahren zum Erzeugen eines Fehlerkennzeichnungssignals anzugeben, wobei auch aperiodische Komponenten im Spannungssignal toleriert werden.

Die Lösung dieser Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs angegebenen Art erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die Energieübertragungsleitung auf das Auftreten eines Kurzschlusses in einer einzigen Phase oder zwei Phasen ohne Erdberührung überwacht und im Falle eines solchen Kurzschlusses ein Steuersignal erzeugt wird, die Spannungsabastwerte und die Stromabastwerte zur Bildung einer Impedanzmeßgröße herangezogen werden, aus einem für die Energieübertragungsleitung bekannten längenbezogenen Leitungswiderstand und der gemessenen Entfernung zwischen der Meßstelle und der Kurzschlußstelle eine dieser Entfernung entsprechende Leitungsimpedanzmeßgröße erzeugt wird, ein weiteres Steuersignal erzeugt wird, wenn der Realteil der Impedanzmeßgröße größer als eine Widerstandsmeßgröße ist, wobei die Widerstandsmeßgröße dem Realteil der Leitungsimpedanzmeßgröße entspricht oder aus der Summe des Realteils der Leitungsimpedanzmeßgröße und einem ermittelten Lichtbogenwiderstandsmeßwert gebildet ist, und das Fehlerkennzeichnungssignal gebildet wird, wenn beide Steuersignale erzeugt wurden.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß es keine Iterationsschritte erfordert und ein nur aus den Abastwerten abgeleitetes Kriterium zur Erzeugung des Fehlerkennzeichnungssignals liefert. Wenn in Kauf genommen werden kann, daß gelegentlich auftretende metallische Kurzschlüsse mit einem ohmschen Widerstand größer als Null als Lichtbogenkurzschlüsse erfaßt werden können, ist es ausreichend, wenn der Realteil der Leitungsimpedanzmeßgröße als die Widerstandsmeßgröße verwendet wird. In diesem Fall ist das erfindungsgemäße Verfahren relativ einfach durchführbar. Noch genauer läßt sich ein Lichtbogenkurzschluß bestimmen, wenn berücksichtigt wird, daß ein metallischer Kurzschluß einen ohmschen Widerstandswert aufweist, der zwar kleiner als der Widerstand des Lichtbogens aber größer als Null ist; in diesem Fall muß der zu erwartende Widerstand des Lichtbogens bei der Erzeugung des Fehlerkennzeichnungssignals in Betracht gezogen werden, was sich dadurch erreichen läßt, daß die Widerstandsmeßgröße aus der Summe des Realteils der Leitungsimpedanzmeßgröße und einem ermittelten Lichtbogenwiderstandsmeßwert gebildet wird.

In vielen Fällen kann zur Ermittlung der Impedanzmeßgröße der im Kurzschlußstrom enthaltene Laststrom vernachlässigt werden, so daß es als vorteilhaft angesehen wird, wenn die Impedanzmeßgröße durch Quotientenbildung aus den Spannungsabastwerten und den Stromabastwerten gebildet wird.

Zur Berücksichtigung des Laststroms muß dieser bei der Ermittlung der Impedanzmeßgröße mit einbezogen werden, wobei es als vorteilhaft erachtet wird, wenn vor dem Auftreten des Kurzschlusses die stromproportionale Meßgröße abgetastet und unter Bildung weiterer Stromabastwerte gespeichert wird, von den einen Stromabastwerten die weiteren Stromabastwerte phasentreu unter Bildung von Differenzstromabastwerten subtrahiert werden, aus den Differenzstromabastwerten und den zeitlich entsprechenden Spannungsabastwerten durch Quotientenbildung die Impedanzmeßgröße gebildet wird.

Um Lichtbogenkurzschlüsse besonders genau erfassen zu können, sollte ein zusätzliches Kriterium zur Erzeugung eines Fehlerkennzeichnungssignals geprüft werden; hierbei wird es als vorteilhaft angesehen, wenn das zusätzliche Kriterium dadurch ermittelt wird, daß aus den Spannungsabastwerten die Grundschiwingung der Kurzschlußspannung hinsichtlich ihrer Amplitude und Phase ermittelt wird, ein rechteckförmiges Signal gebildet wird, dessen Wert einem vorbestimmten Bruchteil der Amplitude und dessen Phase der der Grundschiwingung entspricht, die Grundschiwingung mit den Spannungsabastwerten unter Gewinnung einer eine Signalähnlichkeit angegebenden Ähnlichkeitsgröße verglichen wird, das rechteckförmige Signal mit den Spannungsabastwerten unter Gewinnung einer eine Signalähnlichkeit angegebenden weiteren Ähnlichkeitsgröße verglichen wird, ein zusätzliches Steuersignal erzeugt wird, wenn ein Vergleich der beiden Ähnlichkeitsgrößen ergibt, daß die Ähnlichkeit zwischen dem rechteckförmigen Signal und den Spannungsabastwerten größer als die Ähnlichkeit zwischen der Grundschiwingung und den Spannungsabastwerten ist, und zur Bildung des Fehlerkennzeichnungssignals auch das zusätzliche Steuersignal herangezogen wird.



Um Lichtbogenkurzschlüsse möglichst fehlerfrei zu ermitteln, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die drei Steuersignale derart zur Bildung eines Fehlerkennzeichnungssignals herangezogen werden, daß das Fehlerkennzeichnungssignal gebildet wird, wenn ergänzend auch das zusätzliche Steuersignal erzeugt wurde.

Im Hinblick auf die Bildung eines zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders gut geeigneten Rechtecksignals wird es als vorteilhaft angesehen, wenn ein rechteckförmiges Signal gebildet wird, dessen Wert das $\pi/4$ -fache der Amplitude der Grundschiwingung beträgt.

Die Überprüfung der Ähnlichkeit kann im Hinblick auf ein exaktes Ergebnis vorteilhafterweise durch Berechnung der in den Abtastwerten enthaltenen Oberwellen durchgeführt werden, wobei mit Hilfe der Abtastwerte das Frequenzspektrum der Kurzschlußspannung ermittelt wird und die beiden Ähnlichkeitsgrößen durch Auswertung des Frequenzspektrums gewonnen werden.

Um jedoch eine vollständige Fouriertransformation zu vermeiden, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Ähnlichkeitsgrößen direkt aus den zeitlichen Abtastwerten ermittelt werden, wobei zur Gewinnung der einen Ähnlichkeitsgröße die Abtastwerte mit den jeweiligen Augenblickswerten der Grundschiwingung und zur Gewinnung der weiteren Ähnlichkeitsgröße die Abtastwerte mit den jeweiligen Augenblickswerten des rechteckförmigen Signals verglichen werden.

Die Abweichung der Abtastwerte von den jeweils zeitlich zugeordneten Augenblickswerten der Grundschiwingung und des rechteckförmigen Signals kann prinzipiell in unterschiedlicher Weise gewichtet werden; im Hinblick auf eine einfache und schnelle Berechnung aussagekräftiger Ähnlichkeitsgrößen wird es jedoch als vorteilhaft angesehen, wenn zur Gewinnung der einen Ähnlichkeitsgröße eine der Differenz aus dem jeweiligen Abtastwert und dem zeitlich zugeordneten Augenblickswert der Grundschiwingung entsprechende Differenzgröße gebildet wird und alle sich ergebenden Differenzgrößen quadriert und aufsummiert werden und zur Gewinnung der weiteren Ähnlichkeitsgröße eine der Differenz aus dem jeweiligen Abtastwert und dem zeitlich zugeordneten Augenblickswert des rechteckförmigen Signals entsprechende Differenzgröße gebildet wird und alle sich ergebenden Differenzgrößen quadriert und aufsummiert werden, das Fehlerkennzeichnungssignal abgegeben wird, wenn die eine Ähnlichkeitsgröße größer als die weitere Ähnlichkeitsgröße ist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand zweier Ausführungsbeispiele einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein Blockschaltbild eines zum Ermitteln vom Kurzschluß betroffener Phasen und zum Abtasten von Strom und Spannung dienenden Teils der Anordnung nach **Fig. 1**,

Fig. 3 ein Blockschaltbild eines zur Bildung von Stromdifferenzen vorgesehenen Teils der Anordnung nach **Fig. 1**,

Fig. 4 ein Blockschaltbild eines zur Ermittlung einer Impedanzmeßgröße dienenden Teils der Anordnung nach **Fig. 1**,

Fig. 5 ein Blockschaltbild eines zur Ermittlung einer in einer Kurzschlußspannung enthaltenen Grundschiwingung vorgesehenen Teils der Anordnung nach **Fig. 1**,

Fig. 6 ein Blockschaltbild eines zur Bildung eines rechteckförmigen Signals vorgesehenen Teils der Anordnung nach **Fig. 1**,

Fig. 7 ein Blockschaltbild eines zur Ermittlung von Ähnlichkeitsgrößen dienenden Teils der Anordnung nach **Fig. 1** und

Fig. 8 ein Blockschaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Eine in **Fig. 1** dargestellte geerdete Meßwerterfassungseinrichtung **1** ist an Phasen R, S und T sowie an einen Rückleiter N einer dreiphasigen Energieübertragungsleitung angeschlossen. Die Funktionsweise der Meßwerterfassungseinrichtung **1** wird im Zusammenhang mit der **Fig. 2** detailliert erläutert. An die Meßwerterfassungseinrichtung **1** sind an einen Ausgang A11 ein Leitungsimpedanzbildner **2**, an weitere Ausgänge A12 und A13 eine Subtrahiereinrichtung **3**, an einen zusätzlichen Ausgang A14 ein Sinussignalbildner **4**, eine Vergleichseinrichtung **5** mit einem Eingang E51, eine weitere Vergleichseinrichtung **6** mit einem Eingang E61 sowie ein Impedanzbildner **7** mit einem Eingang E71 angeschlossen. Die Arbeitsweise der Subtrahiereinrichtung **3**, des Impedanzbildners **7**, des Sinussignalbildners **4** und der Vergleichseinrichtung **5** wird im Zusammenhang mit den **Fig. 3, 4, 5** und **7** detailliert erläutert. Dem Impedanzbildner **7** ist über einen weiteren Eingang E72 zusätzlich die Subtrahiereinrichtung **3** vorgeschaltet. Der Impedanzbildner **7** ist ausgangsseitig mit einem Eingang E81 einer Realteilvergleichseinrichtung **8** verbunden, die über einen weiteren Eingang E82 zusätzlich mit dem Leitungsimpedanzbildner **2** verbunden ist. Ausgangsseitig ist die Realteilvergleichseinrichtung **8** mit einem Eingang E91 einer Verknüpfungseinrichtung **9** verbunden, die eine logische AND (Und)-Verknüpfung **10** und eine logische OR (Oder)-Verknüpfung **11** enthält, wobei dieser Eingang E91 der Verknüpfungseinrichtung **9** einen Eingang der OR (Oder)-Verknüpfung **11** bildet. Ein weiterer Eingang der OR (Oder)-Verknüpfung **11** wird durch einen weiteren Eingang E92 der Verknüpfungseinrichtung **9** und ein Eingang der AND (Und)-Verknüpfung **10** durch einen zusätzlichen Eingang E93 der Verknüpfungseinrichtung **9** gebildet. Der Ausgang der OR (Oder)-Verknüpfung **11** ist an einen weiteren Eingang der AND (Und)-Verknüpfung **10** angeschlossen, deren Ausgang einen Ausgang A der Verknüpfungseinrichtung **9** bildet.

An einen Ausgang A41 des Sinussignalbildners **4** sind ein Rechtecksignalbildner **12** mit einem Eingang E121 und die eine Vergleichseinrichtung **5** mit einem weiteren Eingang E52 geschaltet. An einen weiteren Ausgang A42 des Sinussignalbildners **4** ist ein weiterer Eingang E122 des Rechtecksignalbildners **12** angeschlossen. Der Rechtecksignalbildner **12** ist ausgangsseitig mit einem weiteren Eingang E62 der weiteren Vergleichseinrichtung **6** verbunden. Die Arbeitsweise des Rechtecksignalbildners **12** wird im Zusammenhang mit der **Fig. 6** erläutert.

Ausgangsseitig ist an die eine Vergleichseinrichtung **5** eine Entscheidungseinrichtung **13** mit einem Eingang E131 angeschlossen, die mit einem weiteren Eingang E132 zusätzlich mit dem Ausgang der weiteren Vergleichseinrichtung **6** verbunden ist. Ausgangsseitig ist die Entscheidungseinrichtung **13** mit dem weiteren Eingang E92 der Verknüpfungseinrichtung **9** verbunden, an die über den zusätzlichen Eingang E93 außerdem die Meßwerterfassungseinrichtung **1** mit ei-



nem ergänzenden Ausgang A15 angeschlossen ist. Ein Taktgenerator 15 ist ausgangsseitig mit der Meßwerterfassungseinrichtung 1, der Subtrahiereinrichtung 3, dem Impedanzbildner 7, der einen Vergleichseinrichtung 5, der weiteren Vergleichseinrichtung 6 sowie dem Sinussignalbildner 4 verbunden. Der Sinussignalbildner 4, der Rechtecksignalbildner 12, die eine Vergleichseinrichtung 5, die weitere Vergleichseinrichtung 6 und die Entscheidungseinrichtung 13 bilden zusammen eine Kurvenformvergleichseinrichtung 16, deren Eingang E161 mit dem zusätzlichen Ausgang A14 der Meßwerterfassungseinrichtung 1 und deren weiterer Eingang E162 mit dem Taktgenerator 15 verbunden ist. Ein Ausgang A161 der Kurvenformvergleichseinrichtung 16 ist an den weiteren Eingang E92 der Verknüpfungseinrichtung 9 angeschlossen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird mit der dargestellten Anordnung folgendermaßen durchgeführt.

- 10 Der Meßwerterfassungseinrichtung 1, der Subtrahiereinrichtung 3, dem Impedanzbildner 7, der einen Vergleichseinrichtung 5, der weiteren Vergleichseinrichtung 6 sowie dem Sinussignalbildner 4 wird ein Taktsignal T1 des Taktgenerators 15 übermittelt.

- 15 In der Meßwerterfassungseinrichtung 1 werden in den Phasen R, S und T fließenden Strömen $I_R(t)$, $I_S(t)$ und $I_T(t)$ proportionale Meßgrößen MR, MS und MT abgetastet und als Phasenstromabastwerte $I_R(k)$, $I_S(k)$ und $I_T(k)$ gespeichert. k bezeichnet die Zählvariable der Abtastung.

In der Meßwerterfassungseinrichtung 1 wird weiterhin festgestellt, wieviele Phasen vom Kurzschluß betroffen sind und ob eine Erdberührung der betroffenen Phasen vorliegt. Es werden nun folgende drei Fälle unterschieden:

- 20 1. Wird festgestellt, daß nur eine Phase vom Kurzschluß betroffen ist, so wird einem am ergänzenden Ausgang A15 auftretenden Steuersignal ST1 eine logische "1" zugeordnet. Ist beispielsweise die Phase T vom Kurzschluß betroffen, so werden in der Meßwerterfassungseinrichtung 1 daraufhin, d. h. nach Kurzschlußeintritt, eine einer Spannung $U_T(t)$ der betroffenen Phase T proportionale Meßgröße und die dem Strom $I_T(t)$ der betroffenen Phase T proportionale Meßgröße MT abgetastet und Spannungsabastwerte $U_n(k)$ sowie Stromabastwerte $I_n(k)$ gespeichert. Die vor Kurzschlußeintritt gespeicherten Phasenstromabastwerte $I_T(k)$ der vom Kurzschluß betroffenen Phase T werden als weitere Stromabastwerte $I_v(k)$ ausgangsseitig abgegeben.
- 25 2. Sind hingegen zwei Phasen ohne Erdberührung vom Kurzschluß betroffen, so wird in der Meßwerterfassungseinrichtung 1 eine dieser Phasen ausgewählt. Für diese Phase werden die Spannungsabastwerte $U_n(k)$, die einen Stromabastwerte $I_n(k)$ sowie die weiteren Stromabastwerte $I_v(k)$ ermittelt und ausgangsseitig abgegeben. Dem Steuersignal ST1 wird in diesem Fall ebenfalls eine logische "1" zugeordnet.
- 30 3. Sind jedoch zwei Phasen mit Erdberührung oder sogar drei Phasen vom Kurzschluß betroffen, so wird dem Steuersignal ST1 eine logische "0" zugeordnet. Wie nachfolgend erläutert, wird kein Fehlerkennzeichnungssignal abgegeben, wenn das Steuersignal ST1 eine logische "0" aufweist.

Das Steuersignal ST1 wird der Verknüpfungseinrichtung 9 über deren Eingang E93 übermittelt.

- 35 Die einen Stromabastwerte $I_n(k)$ sowie die weiteren Stromabastwerte $I_v(k)$ gelangen zur Subtrahiereinrichtung 3. In der Subtrahiereinrichtung 3 werden von den einen Stromabastwerten $I_n(k)$ die weiteren Stromabastwerte $I_v(k)$ phasentreu abgezogen. Dabei entstehende Differenzstromabastwerte $I_d(k)$ gelangen zum Impedanzbildner 7, dem eingangsseitig zusätzlich die Spannungsabastwerte $U_n(k)$ vorliegen. In dem Impedanzbildner 7 wird aus den Spannungsabastwerten $U_n(k)$ und den Differenzstromabastwerten $I_d(k)$ durch Quotientenbildung eine Impedanzmeßgröße Z gebildet, deren Realteil $\text{Re}(Z)$ in der Realteilvergleichseinrichtung 8 weiterverarbeitet wird. In der Meßwerterfassungseinrichtung 1 wird auch die Entfernung zwischen der Anschlußstelle der Meßwerterfassungseinrichtung 1 an der Energieversorgungsleitung und der Kurzschlußstelle gemessen und ein die Entfernung kennzeichnendes Entfernungssignal S2 zum Leitungsimpedanzbildner 2 übermittelt, in dem durch Multiplikation mit dem für die Energieversorgungsleitung bekannten längenbezogenen Leitungswiderstand der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ einer Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L erzeugt wird; der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L entspricht somit dem ohmschen Widerstand des Leitungsstücks zwischen der Anschlußstelle der Meßwerterfassungseinrichtung 1 und der Kurzschlußstelle der Energieversorgungsleitung.

- Der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L gelangt ausgangsseitig zur Realteilvergleichseinrichtung 8. Hier wird ein weiteres Steuersignal ST2 mit einer logischen "1" gebildet, wenn der Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z größer ist als der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L . Ist jedoch der Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z nicht größer als der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L , so wird dem weiteren Steuersignal ST2 eine logische "0" zugeordnet. Hierbei können die bei der Messung der Impedanzmeßgröße Z und des Realteils $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L auftretenden Meßtoleranzen berücksichtigt werden. Das weitere Steuersignal ST2 gelangt zur Verknüpfungseinrichtung 9. Zur Bildung des Fehlerkennzeichnungssignals in der Verknüpfungseinrichtung 9 werden das am Eingang E93 anliegende eine Steuersignal ST1, das weitere Steuersignal ST2 und ein in der

- 55 Entscheidungseinrichtung 13 erzeugtes, zusätzliches Steuersignal ST3 herangezogen.
- Die Spannungsabastwerte $U_n(k)$ gelangen an den Sinussignalbildner 4, in dem aus den Spannungsabastwerten $U_n(k)$ eine in der Spannung $U_T(t)$ enthaltene Grundschiwingung $U_S(t)$ hinsichtlich ihrer Amplitude A_S und ihrer Phasenlage ϕ ermittelt wird.

- Die Grundschiwingung $U_S(t)$ wird der einen Vergleichseinrichtung 5 zugeführt, der zusätzlich die Spannungsabastwerte $U_n(k)$ der Meßwerterfassungseinrichtung 1 übermittelt werden. In der einen Vergleichseinrichtung 5 werden die Spannungsabastwerte $U_n(k)$ mit den zeitlich zugeordneten Augenblickswerten der Grundschiwingung $U_S(t)$ unter Gewinnung einer eine Signalähnlichkeit angegebenden Ähnlichkeitsgröße V_S verglichen. Von der einen Vergleichseinrichtung 5 gelangt die Ähnlichkeitsgröße V_S zur Entscheidungseinrichtung 13. Zur Ermittlung der jeweiligen Augenblickswerte wird den Vergleichseinrichtungen 5 und 6 ein Taktsignal T1 übermittelt.

- 65 Die Grundschiwingung $U_S(t)$ und ihre gemessene Amplitude A_S werden dem Rechtecksignalbildner 12 übermittelt, in dem ein rechteckförmiges Signal $U_R(t)$ gebildet wird. Hierbei gleicht der Wert A_N des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ einem vorbestimmten Bruchteil der Amplitude A_S und die Phasenlage des rechteckförmigen Signal $U_R(t)$ der der Grundschiwingung $U_S(t)$. Der Wert A_N beträgt beispielsweise $\pi/4 \cdot A_S$. Vom Rechtecksignalbildner 12 wird das rechteckfö-



mige Signal $U_R(t)$ zur weiteren Vergleichseinrichtung 6 übertragen, der zusätzlich die Spannungsabtwerte $U_n(k)$ der Meßwerterfassungseinrichtung 1 zugeführt werden. In der weiteren Vergleichseinrichtung 6 werden die Spannungsabtwerte $U_n(k)$ mit den zeitlich zugeordneten Augenblickswerten des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ unter Gewinnung einer weiteren Ähnlichkeitsgröße V_R verglichen. Der Entscheidungseinrichtung 13 wird die weitere Ähnlichkeitsgröße V_R übermittelt.

In der Entscheidungseinrichtung 13 werden die beiden anliegenden Ähnlichkeitsgrößen V_S und V_R miteinander verglichen, und es wird dem zusätzlichen Steuersignal ST3 eine logische "1" zugeordnet, wenn ein Vergleich der beiden Ähnlichkeitsgrößen V_S und V_R ergibt, daß die Ähnlichkeit zwischen dem rechteckförmigen Signal $U_R(t)$ und den Spannungsabtwerten $U_n(k)$ größer ist als die Ähnlichkeit zwischen der Grundschwingung $U_S(t)$ und den Spannungsabtwerten $U_n(k)$. Sind die beiden Ähnlichkeitsgrößen V_S und V_R beispielsweise derart definiert, daß eine größere Ähnlichkeit einem kleineren Wert der jeweiligen Ähnlichkeitsgröße entspricht, so läßt sich die Entscheidungseinrichtung 13 beispielsweise durch einen Komparator realisieren, von dem ausgangsseitig eine logische "1" abgegeben wird, wenn V_S größer als V_R ist.

Von der Entscheidungseinrichtung 13 gelangt das zusätzliche Steuersignal ST3 zur Verknüpfungseinrichtung 9, an der alle Steuersignale ST1, ST2 und ST3 anliegen.

An dem Ausgang A der Verknüpfungseinrichtung 9 wird somit das Fehlerkennzeichnungssignal abgegeben, wenn das eine Steuersignal ST1 und das weitere Steuersignal ST2 und/oder das zusätzliche Steuersignal ST3 an der Verknüpfungseinrichtung 9 eine logische "1" aufweisen.

In Fig. 2 ist ein Realisierungsbeispiel für die Meßwerterfassungseinrichtung 1 dargestellt. Diese weist eine Prüfeinrichtung 30 auf, die an die drei Phasen R, S und T sowie an den Nulleiter N angeschlossen ist. Der Prüfeinrichtung 30 nachgeschaltet ist eine ebenfalls an die drei Phasen angeschlossene Abtastanordnung 31, an die ein Schieberegister 34, ein weiteres Schieberegister 35 und ein zusätzliches Schieberegister 36 angeschlossen ist.

In der Prüfeinrichtung 30 wird festgestellt, wieviele Phasen vom Kurzschluß betroffen sind und ob eine Erdberührung der betroffenen Phasen vorliegt. Dies kann beispielsweise nach dem in der deutschen Patentschrift DE 24 56 073 C3 beschriebenen Verfahren geschehen. Es werden nun folgende drei Fälle unterschieden:

1. Wird festgestellt, daß nur eine Phase vom Kurzschluß betroffen ist, so wird der Abtastanordnung 31 ein die betroffene Phase kennzeichnendes, analoges oder digitales, phasenindividuelles Auswahlsignal S_0 übermittelt. Mittels einer nicht dargestellten Logikschaltung wird in der Prüfeinrichtung 30 für diesen Kurzschlußfall das eine Steuersignal ST1 mit einer logischen "1" erzeugt, das am ergänzenden Ausgang A15 der Meßwerterfassungseinrichtung 1 abgegeben wird. Die Realisierung der Logikschaltung erfolgt in allgemein bekannter Weise zunächst durch Aufstellen einer logischen Wahrheitstabelle, die schaltungstechnisch durch in der Elektronik bekannte Gatter (NAND, NOR, etc.) nachgebildet wird.
2. Sind hingegen zwei Phasen ohne Erdberührung vom Kurzschluß betroffen, so wird in der Prüfeinrichtung 30 eine dieser Phasen mittels einer weiteren Logikschaltung ausgewählt und der Abtastanordnung 31 das diese Phase kennzeichnende, phasenindividuelle Auswahlsignal S_0 übermittelt. Dem einen Steuersignal S21 wird eine logische "1" zugeordnet.
3. Sind jedoch zwei Phasen mit Erdberührung oder sogar drei Phasen vom Kurzschluß betroffen, so wird kein Auswahlsignal S_0 übermittelt und dem einen Steuersignal ST1 eine logische "0" zugeordnet. Wie bereits erläutert wurde, wird kein Fehlerkennzeichnungssignal abgegeben, wenn das eine Steuersignal ST1 eine logische "0" aufweist.

In der weiteren Figurbeschreibung wird davon ausgegangen, daß der Abtastanordnung 31 das Auswahlsignal S_0 für die Phase T übermittelt worden ist.

In der Abtastanordnung 31 wird daraufhin, d. h. nach Eintritt des Kurzschlusses, die Spannung $U_T(t)$ der betroffenen Phase T als Kurzschlußspannung z. B. nach dem in der deutschen Patentschrift DE 25 32 213 C2 beschriebenen Verfahren ausgewählt, die dieser Spannung $U_T(t)$ proportionale Meßgröße abgetastet und die Spannungsabtwerte $U_n(k)$ gespeichert. Die Spannungsabtwerte $U_n(k)$ werden am zusätzlichen Ausgang A14 abgegeben. In der Abtastanordnung 31 wird außerdem der in der betroffenen Phase T als Kurzschlußstrom fließende Strom $I_T(t)$ ausgewählt, die diesem Strom $I_T(t)$ proportionale Meßgröße M_T abgetastet und die einen Stromabtwerte $I_n(k)$ gespeichert. Die einen Stromabtwerte $I_n(k)$ werden an dem einen der beiden weiteren Ausgänge A13 abgegeben.

Um auch die weiteren Stromabtwerte $I_v(k)$ erfassen zu können, die zeitlich vor dem Eintreten des Kurzschlusses gemessen wurden, wird wie folgt vorgegangen.

Für jede der drei Phasen R, S und T werden in der Abtastanordnung 31 die den Strömen $I_R(t)$, $I_S(t)$ und $I_T(t)$ proportionalen Meßgrößen M_R , M_S und M_T abgetastet und die entsprechenden Phasenstromabtwerte $I_R(k)$, $I_S(k)$ und $I_T(k)$ gespeichert. Die Speicherung der Phasenstromabtwerte $I_R(k)$ der Phase R erfolgt in einem Schieberegister 34, die Speicherung der Phasenstromabtwerte $I_S(k)$ der Phase S in einem weiteren Schieberegister 35 und die Speicherung der Phasenstromabtwerte $I_T(k)$ der Phase T in einem zusätzlichen Schieberegister 36. Jedes Schieberegister kann eine bestimmte Anzahl p an Phasenstromabtwerten speichern. Ein neu hinzukommender Phasenstromabtwert ersetzt hierbei den jeweils ältesten abgetasteten Phasenstromabtwert der jeweiligen Phase, so daß zu jedem Zeitpunkt und für jede Phase die Anzahl p an Phasenstromabtwerten vorliegt. Wird das zusätzliche Schieberegister 36 der Phase T nun von der Abtastanordnung 31 mittels einer Steuerleitung angesteuert, so gelangen die Phasenstromabtwerte $I_T(k)$ der Phase T als die weiteren Stromabtwerte $I_v(k)$ mit $k = 0 \dots p-1$ an einen Ausgang des zusätzlichen Schieberegisters 36, der den anderen der beiden weiteren Ausgänge A12 der Meßwerterfassungseinrichtung 1 bildet. Die Aktivierung des zusätzlichen Schieberegisters 36 erfolgt mittels einer nicht dargestellten, im zusätzlichen Schieberegister 36 enthaltenen logischen Auslöseschaltung. Jedes der drei Schieberegister 34, 35 und 36 weist eine derartige logische Auslöseschaltung auf, die von der Abtastanordnung 31 mittels Steuerleitungen angesteuert werden kann.

In der Prüfeinrichtung 30 wird nach Eintritt des Kurzschlusses zusätzlich gemessen, wie groß die Entfernung zw-



schen der Kurzschlußstelle und der Meßwerterfassungseinrichtung 1 ist. Die Entfernungsmessung kann beispielsweise nach dem in der europäischen Patentschrift EP 0 284 546 B1 beschriebenen Verfahren durchgeführt werden. Von der Prüfeinrichtung 30 wird das Entfernungssignal S2 an den einen Ausgang A11 abgegeben.

In Fig. 3 ist ein Realisierungsbeispiel für die Subtrahiereinrichtung 3 dargestellt. Die Subtrahiereinrichtung 3 weist eingangsseitig eine Zuordnungseinrichtung 40 auf, an der die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$ und die weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$ anliegen. Der Zuordnungseinrichtung 40 nachgeordnet ist ein Differenzbildner 41, dessen Ausgang gleichzeitig den Ausgang der Subtrahiereinrichtung 3 bildet.

Zur phasentreuen Subtraktion der weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$ von den einen Stromabstastwerten $I_n(k)$ ist es nötig, die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$ mit den zeitlich zusammenpassenden weiteren Stromabstastwerten $I_v(k)$ zusammenzuführen.

Um zu verdeutlichen, was mit "zeitlich zusammenpassend" gemeint ist, wird zunächst erläutert, wie sich die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$ und die weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$ aus dem Strom $I_T(t)$ der Phase T ergeben:

$$I_n(k) \triangleq I_T(2\pi \cdot T_A \cdot f \cdot k) \text{ mit } k = p \dots N$$

$$I_v(k) \triangleq I_T(2\pi \cdot T_A \cdot f \cdot k) \text{ mit } k = 0 \dots p-1$$

mit f : Netzfrequenz, T_A : Abtastperiodendauer. Die Abtastperiodendauer kann beispielsweise $T_A = 20/f$ betragen.

Damit ein bestimmter weiterer Stromabstastwert $I_v(k_2)$ ($k_2 = 0 \dots p-1$) zu einem bestimmten einen Stromabstastwert $I_n(k_1)$ ($k_1 = p \dots N$) zeitlich paßt, muß für die Differenz zwischen k_1 und k_2 gelten:

$$k_1 - k_2 = m \cdot f \cdot T_A$$

m : ganzzahlig, $m \geq 1$

Der bestimmte weitere Stromabstastwert $I_v(k_2)$ muß also zeitlich ein ganzzahliges Vielfaches der Periodenlänge der Netzfrequenz vor dem bestimmten einen Stromabstastwert $I_n(k_1)$ abgetastet worden sein. In dieser Weise ist jedem einen Stromabstastwert $I_n(k)$ ein zeitlich passender weiterer Stromabstastwert $I_v(k - m \cdot f \cdot T_A)$ zuzuordnen. Von der Zuordnungseinrichtung 40 gelangen die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$ und die zeitlich hierzu passenden weiteren Stromabstastwerte $I_v(k - m \cdot f \cdot T_A)$ zum Differenzbildner 41. Dort werden die anliegenden Eingangsgrößen voneinander subtrahiert und ausgangsseitig die Differenzstromabstastwerte $I_d(k)$ abgegeben. Die Differenzstromabstastwerte $I_d(k)$ gelangen somit zu Ausgangsklemmen der Subtrahiereinrichtung 3.

In Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel eines Impedanzbildners 7 dargestellt.

Eingangsseitig weist der Impedanzbildner 7 ein Fourieranalyseelement 50 auf, an dessen einem Eingang E71 die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$ und an dessen weiterem Eingang E72 die Differenzstromabstastwerte $I_d(k)$ anliegen. Dem Fourieranalyseelement 50 nachgeordnet sind ein Quotientenbildner 51 und ein Phasendifferenzbildner 52. Der Quotientenbildner 51 und der Phasendifferenzbildner 52 sind ausgangsseitig an einen Realteilbildner 53 angeschlossen, dessen Ausgang den Ausgang des Impedanzbildners 7 bildet.

In dem Fourieranalyseelement 50 werden aus den Eingangsgrößen ein Stromscheitelwert A_I , ein Stromphasenlagemeßwert ϕ_I , ein Spannungsscheitelwert A_U sowie ein Spannungsphasenlagemeßwert ϕ_U gebildet. Die Funktion des Fourieranalyseelements 50, d. h. das Ermitteln einer Amplitude und einer Phasenlage aus Abtastwerten, kann beispielsweise so realisiert werden, wie es im Zusammenhang mit der Fig. 5 erläutert wird. Der Stromscheitelwert A_I und der Spannungsscheitelwert A_U gelangen zu dem Quotientenbildner 51, in dem ein Scheitelwertquotient A_U/A_I gebildet wird. Dieser Scheitelwertquotient A_U/A_I gelangt zu dem Realteilbildner 53. Vom Fourieranalyseelement 50 gelangen der Stromphasenlagemeßwert ϕ_I und der Spannungsphasenlagemeßwert ϕ_U zu dem Phasendifferenzbildner 52, in dem die Phasendifferenz $\phi_U - \phi_I$ gebildet und ausgangsseitig abgegeben wird. Die Phasendifferenz $\phi_U - \phi_I$ gelangt ebenfalls zum Realteilbildner 53, wo aus den eingangsseitig anliegenden Meßwerten der Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z gebildet wird gemäß:

$$Z = \frac{A_U}{A_I} \cdot \exp[j(\phi_U - \phi_I)]$$

$$\text{Re}(Z) = \frac{A_U}{A_I} \cos(\phi_U - \phi_I).$$

Die erforderliche Berechnung der \cos -Funktion kann mit Hilfe einer Potenzreihenentwicklung unter Einsatz von elektronischen Standardelementen wie Multiplizierer und Summenbildner erfolgen (vgl. \arctan -Funktion in Fig. 5). Der am Realteilbildner 53 ausgangsseitig vorliegende Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z gelangt zum Ausgang des Impedanzbildners 7.

In Fig. 5 ist ein Realisierungsbeispiel für den Sinussignalbildner 4 dargestellt. An eine Eingangsklemme des Sinussignalbildners 4 sind eine Meßeinrichtung 120 und eine weitere Meßeinrichtung 121 angeschlossen. Beide Meßeinrichtungen 120 und 121 sind ausgangsseitig an eine Amplitudenmeßeinrichtung 122 und an eine Phasenlagemeßeinrichtung 123 angeschlossen. Der Amplitudenmeßeinrichtung 122 und der Phasenlagemeßeinrichtung 123 nachgeordnet ist ein Sinusgenerator 124, dem eingangsseitig zusätzlich die Taktimpulse T_1 des Taktgenerators 15 zugeführt werden.

In der Meßeinrichtung 120 wird eine Fouriercosinustransformation durchgeführt (vgl. Bronstein-Semendjajew, Taschenbuch der Mathematik, Leipzig 1979, Seite 618 bis 633) und ein Scheitelwert a einer in den Spannungsabstastwerten $U_n(k)$ enthaltenen Cosinusschwingung mit Netzfrequenz f durch Produktbildung und Summation erzeugt gemäß:



$$a = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} U(k) \cdot \cos(2\pi \cdot T_A \cdot f \cdot k)$$

In der weiteren Meßeinrichtung 121 wird eine Fouriersinustransformation durchgeführt und ein weiterer Scheitelwert b einer in den Spannungsabstastwerten $U_n(k)$ enthaltenen Sinusschwingung mit Netzfrequenz f gebildet:

$$b = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} U(k) \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot T_A \cdot k)$$

Der Zeiger der in den Spannungsabstastwerten $U_n(k)$ enthaltenen Grundschiwingung $U_S(t)$ läßt sich somit durch komplexe Addition der Zeiger der Sinus- und der Cosinusschwingung ermitteln.

Die beiden Scheitelwerte a und b werden der Amplitudenmeßeinrichtung 122 und der Phasenlagemeßeinrichtung 123 zugeführt. In der Amplitudenmeßeinrichtung 122 wird die Amplitude A_S der Grundschiwingung $U_S(t)$ gemäß $A_S = \sqrt{a^2 + b^2}$ bestimmt. Dies ist in dieser Form möglich, da die Zeiger der Sinus- und der Cosinusschwingung orthogonal zueinander sind. In der Phasenlagemeßeinrichtung 123 wird die Phasenlage ϕ der Grundschiwingung $U_S(t)$ ermittelt. Die Phasenlage ϕ kann beispielsweise gemäß $\phi = \arctan(b/a)$ erzeugt werden. Die Berechnung der Arctan-Funktion kann dabei unter Einsatz eines Integrierbausteins erfolgen (vgl. Bronstein-Semendjajew, Taschenbuch der Mathematik, Leipzig 1979, Seite 37, Integral Nr. 40). Statt dessen möglich ist aber auch eine Potenzreihenentwicklung der Arctan-Funktion nach Seite 34 des o. g. Taschenbuches der Mathematik und eine Bildung der Phasenlage ϕ durch elektronische Standardelemente wie Multiplizierer, Quotienten- und Summenbildner.

Die Amplitude A_S und die Phasenlage ϕ gelangen zum Sinusgenerator 124, in dem daraus die Grundschiwingung $U_S(t)$ der Amplitude A_S und der Phasenlage ϕ erzeugt wird. Die Grundschiwingung $U_S(t)$ wird an dem Ausgang A41 des Sinussignalbildners 4, der in Fig. 1 dem oberen der beiden Ausgänge dieses Bauteils 4 entspricht, zur Verfügung gestellt.

An dem weiteren Ausgang A42 des Sinussignalbildners 4 wird die Amplitude A_S abgegeben. Der Ausgang der Amplitudenmeßeinrichtung 122 bildet zugleich den unteren Ausgang der bei Fig. 1 dargestellten Ausgangsklemmen des Sinussignalbildners 4.

In Fig. 6 ist ein Ausführungsbeispiel des Rechtecksignalbildners 12 dargestellt. An dem Eingang E121 des Rechtecksignalbildners 12 ist ein Triggerbaustein 130 angeschlossen, dem ein Rechteckgenerator 131 nachgeschaltet ist. Der Rechteckgenerator 131 ist eingangsseitig zusätzlich mit der Amplitude A_S über den Eingang E122 des Rechtecksignalbildners 12 beaufschlagt. Der Ausgang des Rechteckgenerators 131 bildet den Ausgang des Rechtecksignalbildners 12.

An der Eingangsklemme des Triggerbausteins 130 liegt die Grundschiwingung $U_S(t)$ an, aus der mittels des Triggerbausteins 130 Triggersignale gewonnen werden, die dem Rechteckgenerator 131 übermittelt werden. Neben den Triggersignalen, die im wesentlichen die Phasenlage ϕ der Grundschiwingung $U_S(t)$ beschreiben, wird dem Rechteckgenerator 131 die Amplitude A_S der Grundschiwingung $U_S(t)$ übertragen. Im Rechteckgenerator 131 wird aus der Amplitude A_S der Grundschiwingung $U_S(t)$ der Wert A_N des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ gewonnen, was beispielsweise mit einem Spannungsteiler realisiert werden kann.

Der optimale Wert für A_N beträgt $A_N = \pi/4 \cdot A_S$, wie sich folgendermaßen erläutern läßt. Das rechteckförmige Signal $U_R(t)$ läßt sich aus Cosinusschwingungen verschiedener Frequenzen zusammensetzen:

$$U_R(t) = \frac{4 \cdot A_N}{\pi} \cdot \left(\cos(\omega t) - \frac{\cos(3\omega t)}{3} + \frac{\cos(5\omega t)}{5} - \dots \right),$$

ω : Kreisfrequenz

Vergleicht man den Wert A_N des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ mit der Amplitude A_{S1} einer in dem rechteckförmigen Signal $U_R(t)$ enthaltenen Grundschiwingung, so ergibt sich die Umrechnung zu $A_N = \pi/4 \cdot A_{S1}$. Damit erhält man $A_N = \pi/4 \cdot A_S$ für den Fall, daß die Grundschiwingung $U_S(t)$ gleich der Grundschiwingung des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ ist.

Mit dem Wert A_N und den Triggersignalen wird im Rechteckgenerator 131 das rechteckförmige Signal $U_R(t)$ gebildet.

In Fig. 7 ist ein Blockschaltbild für die Vergleichseinrichtung 5 dargestellt. Diese weist einen weiteren Differenzbildner 140 auf, dem über den einen Eingang E51 der Vergleichseinrichtung 5 die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$, über den weiteren Eingang E52 der Vergleichseinrichtung 5 die Grundschiwingung $U_S(t)$ und über einen Takteingang die Taktimpulse T_1 zugeführt werden. Dem weiteren Differenzbildner 140 nachgeordnet ist eine Quadriereinrichtung 141, die ausgangssseitig an einen Summierer 142 angeschlossen ist.

Mit dieser Anordnung wird die Ähnlichkeitsgröße V_S gebildet gemäß:

$$V_S = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (U(k) - U_S(2\pi \cdot f \cdot T_A \cdot k + \phi))^2$$

Dies wird im einzelnen wie folgt durchgeführt.

In dem weiteren Differenzbildner 140 werden unter Verwendung des Taktsignals T_1 Differenzgrößen $S(k)$ aus den Spannungsabstastwerten $U_n(k)$ und den zeitlich zugeordneten Augenblickswerten der Grundschiwingung $U_S(t)$ gebildet. Die Differenzwerte $S(k)$ werden dem Quadrierer 141 zugeführt, in dem die vorliegenden Differenzgrößen $S(k)$ quadriert werden. Die quadrierten Augenblickswerte $S^2(k)$ gelangen in den Summierer 142, in dem die einzelnen quadrierten Differenzgrößen $S^2(k)$ auf summiert werden und die Ähnlichkeitsgröße V_S gebildet wird.



Zur Bildung der weiteren Ähnlichkeitsgröße V_R wird in der weiteren Vergleichseinrichtung 6 das rechteckförmige Signal $U_R(t)$ verarbeitet und die weitere Ähnlichkeitsgröße V_R gebildet gemäß:

$$V_R = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (U(k) - U_R(2\pi \cdot f \cdot T_A \cdot k + \varphi))^2$$

mit $U_R(t) = A_N \cdot \text{wal}(1, \varphi)$ und $\text{wal}(1, \varphi)$: Walsh-Funktion

Die beiden Ähnlichkeitsgrößen V_S und V_R können statt dessen auch durch Auswertung von Frequenzspektren gebildet werden. Hierzu werden durch Fouriertransformation ein Frequenzspektrum der Spannungsabstastwerte $U_n(k)$, ein weiteres Frequenzspektrum der Grundschwingung $U_S(t)$ und ein zusätzliches Frequenzspektrum des rechteckförmigen Signals $U_R(t)$ gebildet. Die beiden Ähnlichkeitsgrößen V_S und V_R werden dann durch Vergleich bzw. durch Auswertung der Frequenzspektren gewonnen.

In Fig. 8 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, wobei in der Fig. 8 Elemente gezeigt sind, die mit Elementen in Fig. 1 identisch sind; diese Elemente haben in Fig. 8 die gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 1, wenn sie die gleiche Funktion aufweisen.

Die in Fig. 8 dargestellte geerdete Meßwerterfassungseinrichtung 1 ist an die Phasen R, S und T sowie an den Rückleiter N der dreiphasigen Energieübertragungsleitung angeschlossen. Die Funktionsweise der Meßwerterfassungseinrichtung 1 wurde im Zusammenhang mit der Fig. 2 detailliert erläutert. An die Meßwerterfassungseinrichtung 1 sind an den Ausgang A11 der Leitungsimpedanzbildner 2, an die weiteren Ausgänge A12 und A13 die Subtrahiereinrichtung 3, an den zusätzlichen Ausgang A14 der Impedanzbildner 7 mit dem einen Eingang E71 und die Kurvenformvergleichseinrichtung 16 mit dem einen Eingang E161 und an den ergänzenden Ausgang A15 die Verknüpfungseinrichtung 9 mit dem zusätzlichen Eingang E93 angeschlossen. Die Arbeitsweise der Kurvenformvergleichseinrichtung 16, der Subtrahiereinrichtung 3 und des Impedanzbildners 7 wurde im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 3 bis 7 detailliert erläutert. Dem weiteren Eingang E72 des Impedanzbildner 7 und einem Lichtbogenwiderstandsmesser 71 ist vorgeschaltet. Der Impedanzbildner 7 ist ausgangsseitig mit einem Eingang E721 einer weiteren Realteilvergleichseinrichtung 72 verbunden, die über einen weiteren Eingang E722 einem Widerstandssummenbildner 73 nachgeordnet ist. Ausgangsseitig ist die weitere Realteilvergleichseinrichtung 72 an den einen Eingang E91 der Verknüpfungseinrichtung 9 angeschlossen. Der Widerstandssummenbildner 73 ist über einen Eingang E731 mit dem Lichtbogenwiderstandsmesser 71 und über einen weiteren Eingang E732 mit dem Leitungsimpedanzbildner 2 verbunden.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird mit der dargestellten Anordnung folgendermaßen durchgeführt.

In der Meßwerterfassungseinrichtung 1 werden, wie bereits in Fig. 1 und 2 beschrieben, die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$, die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$, die weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$, das Entfernungssignal S2 und das eine Steuersignal ST1 ausgangsseitig abgegeben. Das eine Steuersignal ST1 gelangt zur Verknüpfungseinrichtung 9 und das Entfernungssignal S2 zum Leitungsimpedanzbildner 2. Die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$ gelangen zum Impedanzbildner 7 und die einen Stromabstastwerte $I_n(k)$ und die weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$ zur Subtrahiereinrichtung 3.

In der Subtrahiereinrichtung 3 werden von den einen Stromabstastwerten $I_n(k)$ die weiteren Stromabstastwerte $I_v(k)$ phasentreu abgezogen. Die dabei entstehenden Differenzstromabstastwerte $I_d(k)$ gelangen zum Impedanzbildner 7, dem eingangsseitig zusätzlich die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$ vorliegen. In dem Impedanzbildner 7 wird aus den Spannungsabstastwerten $U_n(k)$ und den Differenzstromabstastwerten $I_d(k)$ durch Quotientenbildung die Impedanzmeßgröße Z gebildet, deren Realteil $\text{Re}(Z)$ in der weiteren Realteilvergleichseinrichtung 72 weiterverarbeitet wird. Im Leitungsimpedanzbildner 2 wird durch Multiplikation des mittels des Entfernungssignals S2 übertragenen Entfernungsmesswertes mit dem für die Energieversorgungsleitung bekannten längenbezogenen Leitungswiderstand der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L erzeugt. Der Realteil $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L gelangt zum weiteren Eingang E732 des Widerstandssummenbildners 73.

In dem Lichtbogenwiderstandsmesser 71 wird aus den eingangsseitig anliegenden Differenzstromabstastwerten $I_d(k)$ ein Lichtbogenwiderstandsmesswert R_{Li} erzeugt. Dies kann beispielsweise mit Hilfe der in dem Fachbuch "Schutztechnik in Elektroenergiesystemen" (Heinz Clemens und Klaus Rothe, VDE-Verlag, Berlin, Seite 174) erläuterten Formel geschehen:

$$R_{Li} = \frac{U'_{Li} \cdot l_{Li}}{I_d(k)}$$

wobei U'_{Li} eine längenbezogene Lichtbogenspannung bezeichnet, die Werte zwischen ca. 1000–2500 V/m annehmen kann, und l_{Li} die Lichtbogenlänge angibt. Da diese an der Anschlußstelle der Meßwerterfassungseinrichtung 1 nicht gemessen werden kann, wird sie unter Zugrundelegung des mechanischen Aufbaus der Energieversorgungsleitung hinsichtlich ihrer kleinstmöglichen Länge abgeschätzt. Von den Differenzstromabstastwerten $I_d(k)$ wird beispielsweise der größte Differenzstromabstastwert ausgewählt und dieser in die Gleichung zur Bestimmung des Lichtbogenwiderstandsmesswerts R_{Li} eingesetzt. Der in dieser Weise bestimmte kleinstmögliche Lichtbogenwiderstandsmesswert R_{Li} gelangt zu dem einen Eingang E731 des Widerstandssummenbildners 73.

In dem Widerstandssummenbildner 73 wird aus den anliegenden Eingangsgrößen durch Summenbildung eine Widerstandsmessgröße $\text{Re}(Z_L) + R_{Li}$ gebildet, die an den weiteren Eingang E722 der weiteren Realteilvergleichseinrichtung 72 gelangt.

Die weitere Realteilvergleichseinrichtung 72 und die eine, in Fig. 1 dargestellte Realteilvergleichseinrichtung 8 sind identisch.



In der weiteren Realteilvergleichseinrichtung 72 wird das weitere Steuersignal ST2' mit einer logischen "1" gebildet, wenn der Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z größer ist als die Widerstandsmeßgröße $\text{Re}(Z_L) + R_{Li}$. Ist jedoch der Realteil $\text{Re}(Z)$ der Impedanzmeßgröße Z nicht größer ist als die Widerstandsmeßgröße $\text{Re}(Z_L) + R_{Li}$, so wird dem weiteren Steuersignal ST2' eine logische "0" zugeordnet. Hierbei können die bei der Messung der Impedanzmeßgröße Z und des Realteils $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L auftretenden Meßtoleranzen berücksichtigt werden. Außerdem ist es möglich, den Lichtbogenwiderstandsmeßwert R_{Li} in der Widerstandsmeßgröße $\text{Re}(Z_L) + R_{Li}$ zu vernachlässigen, wenn der Lichtbogenwiderstandsmeßwert R_{Li} kleiner ist als die Meßwerttoleranz bei der Messung des Realteils $\text{Re}(Z_L)$ der Leitungsimpedanzmeßgröße Z_L . In diesem Fall kann das weitere Steuersignal ST2' mit einer logischen "1" gebildet werden, wenn gilt:

$$\text{Re}(Z) > \text{Re}(Z_L) \cdot (1 + \text{Meßtoleranz}/100),$$

wobei die Meßtoleranz in Prozent eingesetzt wird.

Das weitere Steuersignal ST2' gelangt zum einen Eingang E91 der Verknüpfungseinrichtung 9.

In der Kurvenformvergleichseinrichtung 16 werden die Spannungsabstastwerte $U_n(k)$ nach dem im Zusammenhang mit den Fig. 1, 5, 6 und 7 erläuterten Verfahren verarbeitet. Das ausgangsseitig abgegebene zusätzliche Steuersignal ST3 gelangt zur Verknüpfungseinrichtung 9. Dort werden zur Bildung des Fehlerkennzeichnungssignals das am einen Eingang E91 anliegende eine Steuersignal ST1, das weitere Steuersignal ST2' und das zusätzliche Steuersignal ST3 ausgewertet. Das Fehlerkennzeichnungssignal wird an einem Ausgang B der Verknüpfungseinrichtung 9 erzeugt, wenn das eine Steuersignal S21 und das weitere Steuersignal ST2' und/oder das zusätzliche Steuersignal ST3 eine logische "1" aufweisen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß die Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren in der Praxis mittels einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage erfolgt; die dargestellten Blockschaltbilder dienen daher vor allem zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines Fehlerkennzeichnungssignals, das einen an einer Kurzschlußstelle einer mehrphasigen elektrischen Energieübertragungsleitung aufgetretenen Kurzschluß als Lichtbogenkurzschluß kennzeichnet, wobei bei diesem Verfahren
 - beim Auftreten eines Kurzschlusses eine an einer Meßstelle der Energieübertragungsleitung erfaßte spannungsproportionale Meßgröße und eine an dieser Meßstelle erfaßte stromproportionale Meßgröße abgetastet werden und entsprechende Spannungsabstastwerte ($U_n(k)$) und Stromabstastwerte ($I_n(k)$) gespeichert werden und
 - durch Auswertung der Spannungs- und Stromabstastwerte das Fehlerkennzeichnungssignal gewonnen wird, **dadurch gekennzeichnet, daß**
 - die Energieübertragungsleitung auf das Auftreten eines Kurzschlusses in einer einzigen Phase oder zwei Phasen ohne Erdberührung überwacht und im Falle eines solchen Kurzschlusses ein Steuersignal (ST1) erzeugt wird,
 - die Spannungsabstastwerte ($U_n(k)$) und die Stromabstastwerte ($I_n(k)$) zur Bildung einer Impedanzmeßgröße (Z) herangezogen werden,
 - aus einem für die Energieübertragungsleitung bekannten längenbezogenen Leitungswiderstand und der gemessenen Entfernung zwischen der Meßstelle und der Kurzschlußstelle eine dieser Entfernung entsprechende Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) erzeugt wird,
 - ein weiteres Steuersignal (ST2) erzeugt wird, wenn der Realteil ($\text{Re}(Z)$) der Impedanzmeßgröße (Z) größer als eine Widerstandsmeßgröße ist, wobei die Widerstandsmeßgröße dem Realteil ($\text{Re}(Z_L)$) der Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) entspricht oder aus der Summe des Realteils ($\text{Re}(Z_L)$) der Leitungsimpedanzmeßgröße (Z_L) und einem ermittelten Lichtbogenwiderstandsmeßwert (R_{Li}) gebildet ist, und
 - das Fehlerkennzeichnungssignal gebildet wird, wenn beide Steuersignale (ST1) und (ST2) erzeugt wurden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Impedanzmeßgröße (Z) durch Quotientenbildung aus den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) und den Stromabstastwerten ($I_n(k)$) gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - vor dem Auftreten des Kurzschlusses die stromproportionale Meßgröße abgetastet und unter Bildung weiterer Stromabstastwerte ($I_v(k)$) gespeichert wird,
 - von den einen Stromabstastwerten ($I_n(k)$) die weiteren Stromabstastwerte ($I_v(k)$) phasentreu unter Bildung von Differenzstromabstastwerten ($I_d(k)$) subtrahiert werden,
 - aus den Differenzstromabstastwerten ($I_d(k)$) und den zeitlich entsprechenden Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) durch Quotientenbildung die Impedanzmeßgröße (Z) gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - aus den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) die Grundschiwingung ($U_S(t)$) der Kurzschlußspannung hinsichtlich ihrer Amplitude (A_S) und Phase (ϕ) ermittelt wird,
 - ein rechteckförmiges Signal ($U_R(t)$) gebildet wird, dessen Wert (A_N) einem vorbestimmten Bruchteil der Amplitude (A_S) und dessen Phase der der Grundschiwingung ($U_S(t)$) entspricht,
 - die Grundschiwingung ($U_S(t)$) mit den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) unter Gewinnung einer eine Signalähnlichkeit angegebenden Ähnlichkeitsgröße (V_S) verglichen wird,
 - das rechteckförmige Signal ($U_R(t)$) mit den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) unter Gewinnung einer eine Signalähnlichkeit angegebenden weiteren Ähnlichkeitsgröße (V_R) verglichen wird,
 - ein zusätzliches Steuersignal (ST3) erzeugt wird, wenn ein Vergleich der beiden Ähnlichkeitsgrößen (V_S)



und (V_R) ergibt, daß die Ähnlichkeit zwischen dem rechteckförmigen Signal ($U_R(t)$) und den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) größer als die Ähnlichkeit zwischen der Grundschiwingung ($U_S(t)$) und den Spannungsabstastwerten ($U_n(k)$) ist, und

- zur Bildung des Fehlerkennzeichnungssignals auch das zusätzliche Steuersignal (ST3) herangezogen wird.
- 5 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Fehlerkennzeichnungssignal gebildet wird, wenn ergänzend auch das zusätzliche Steuersignal (ST3) erzeugt wurde.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein rechteckförmiges Signal ($U_R(t)$) gebildet wird, dessen Wert (A_N) das $\pi/4$ -fache der Amplitude (A_S) der Grundschiwingung ($U_S(t)$) beträgt.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe der Spannungsabstastwerte ($U_n(k)$) das Frequenzspektrum der Kurzschlußspannung ermittelt wird und die beiden Ähnlichkeitsgrößen (V_S) und (V_R) durch Auswertung des Frequenzspektrums gewonnen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Gewinnung der einen Ähnlichkeitsgröße (V_S) die Spannungsabstastwerte ($U_n(k)$) mit den jeweiligen Augenblickswerten der Grundschiwingung ($U_S(t)$) und zur Gewinnung der weiteren Ähnlichkeitsgröße (V_R) die Spannungsabstastwerte ($U_n(k)$) mit den jeweiligen Augenblickswerten des rechteckförmigen Signals ($U_R(t)$) verglichen werden.
- 15 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß
- zur Gewinnung der einen Ähnlichkeitsgröße (V_S) eine der Differenz aus dem jeweiligen Spannungsabstastwert ($U_n(k)$) und dem zeitlich zugeordneten Augenblickswert der Grundschiwingung ($U_S(t)$) entsprechende Differenzgröße $S(k)$ gebildet wird und alle sich ergebenden Differenzgrößen $S(k)$ quadriert und aufsummiert werden und zur Gewinnung einer weiteren Ähnlichkeitsgröße (V_R) eine der Differenz aus dem jeweiligen Spannungsabstastwert ($U_n(k)$) und dem zeitlich zugeordneten Augenblickswert des rechteckförmigen Signals ($U_R(t)$) entsprechende Differenzgröße gebildet wird und alle sich ergebenden Differenzgrößen quadriert und aufsummiert werden,
 - das zusätzliche Steuersignal (ST3) erzeugt wird, wenn die eine Ähnlichkeitsgröße (V_S) größer als die weitere Ähnlichkeitsgröße (V_R) ist.
- 20
- 25

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

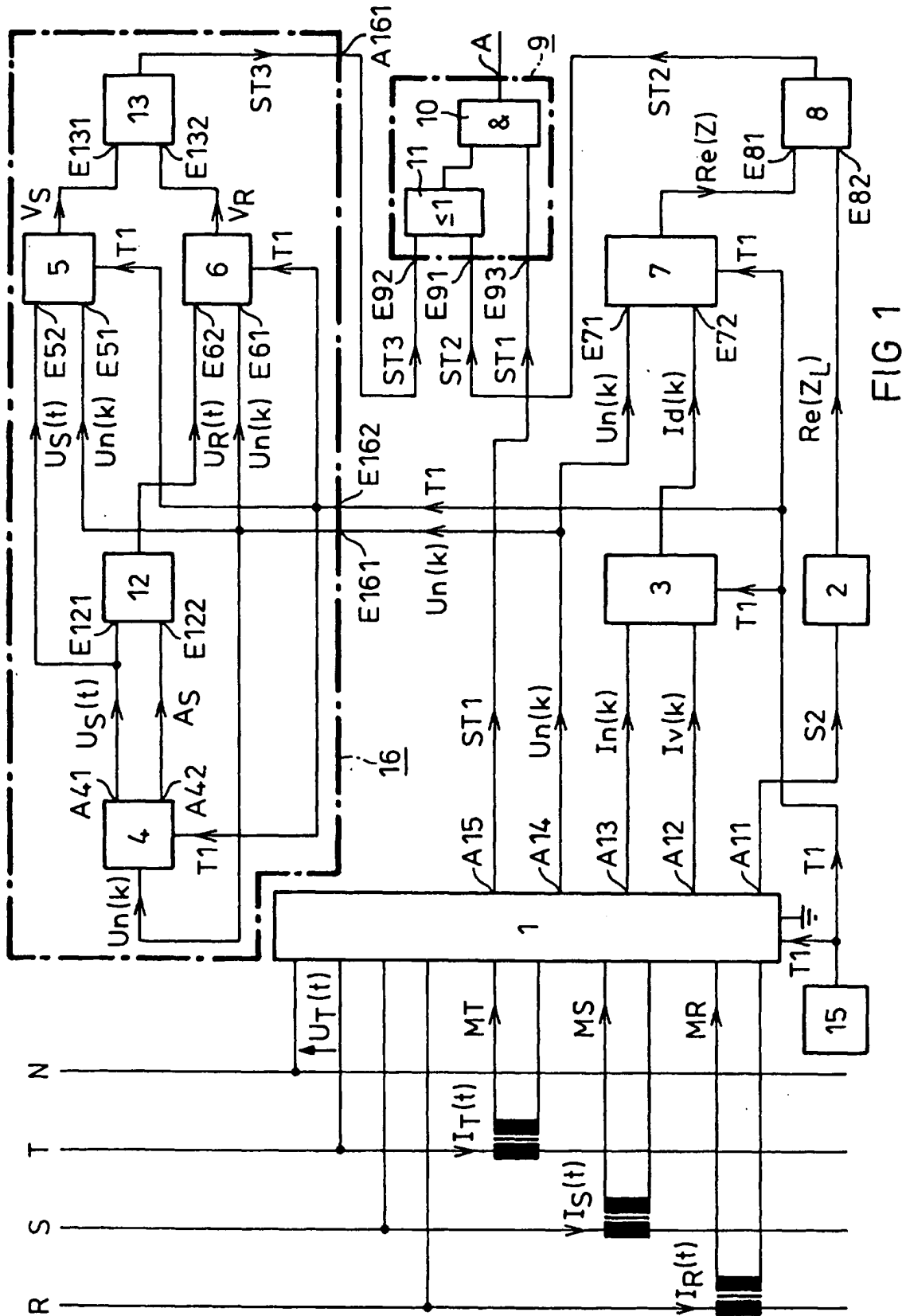
60

65



- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)



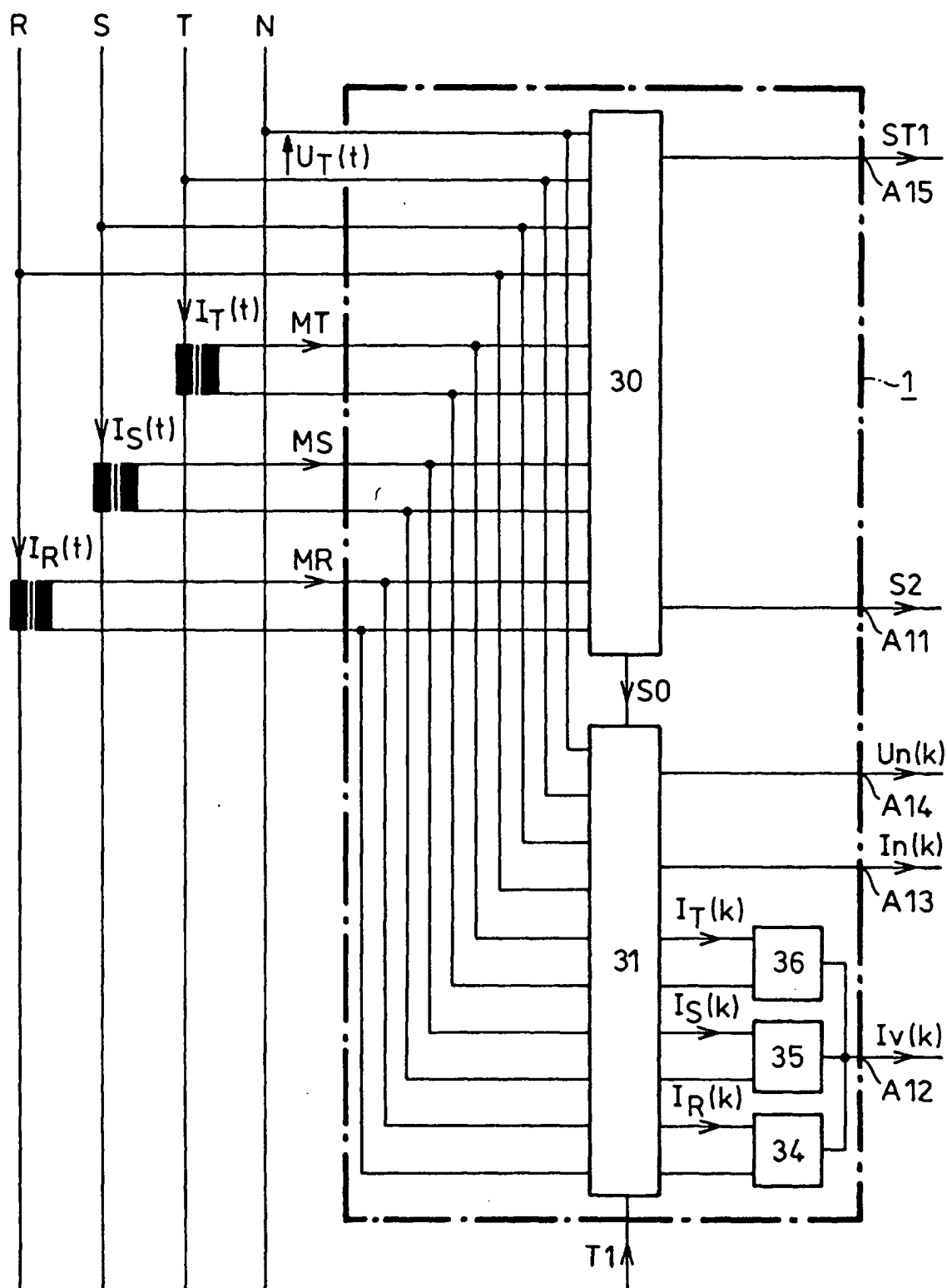


FIG 2

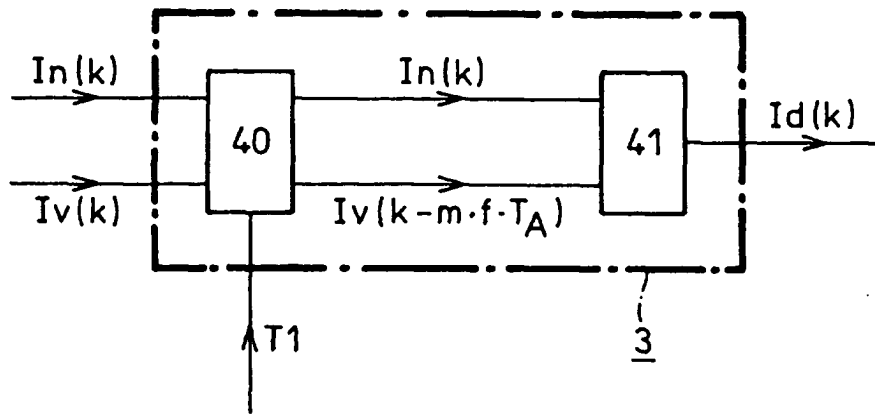


FIG 3

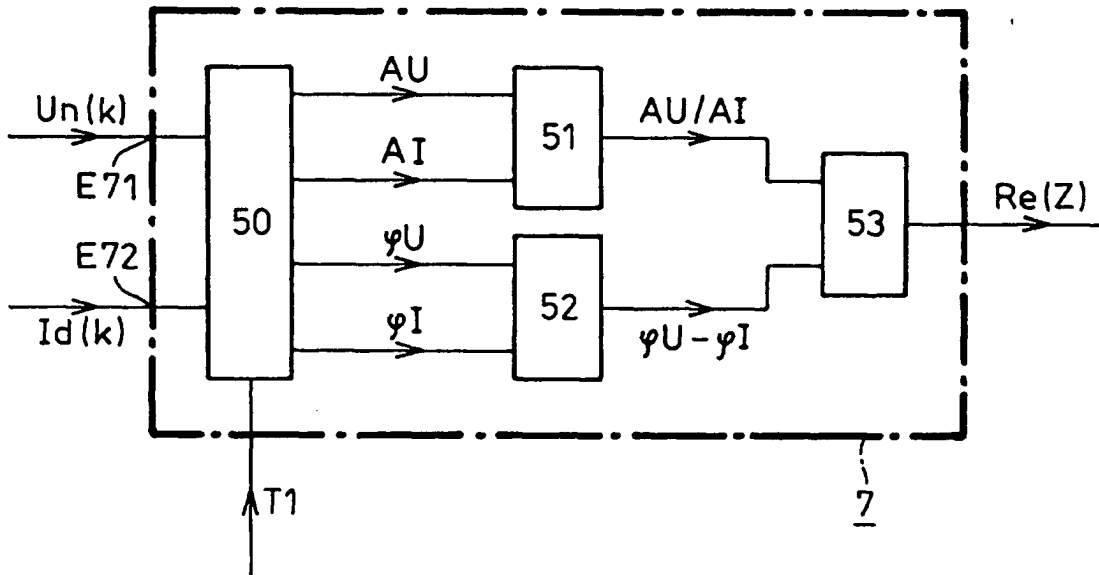


FIG 4

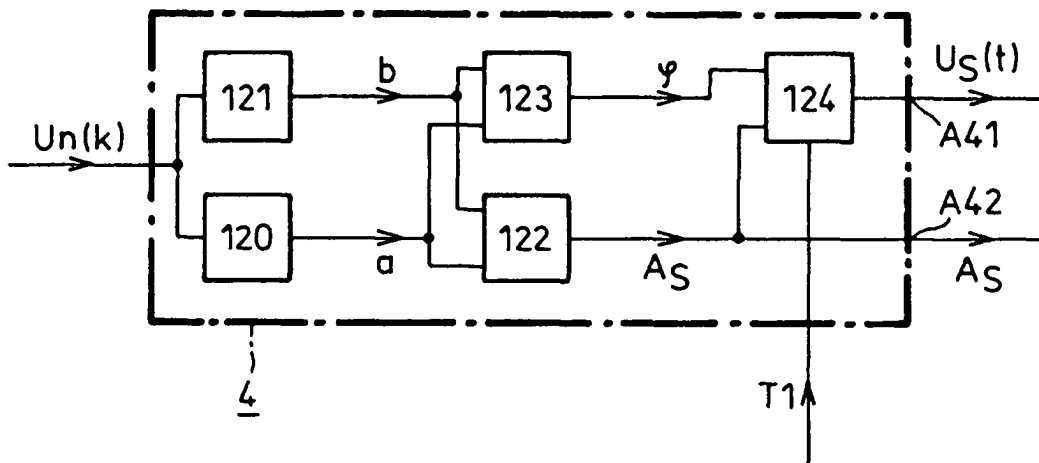


FIG 5

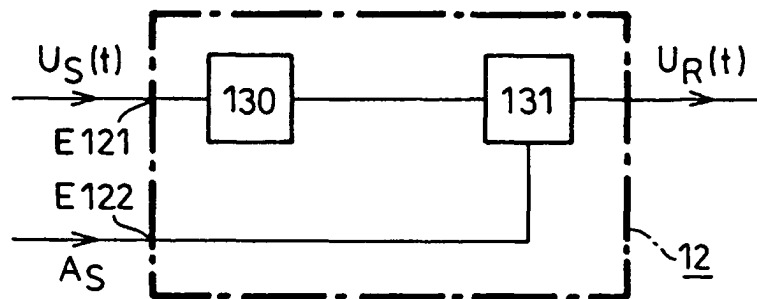


FIG 6

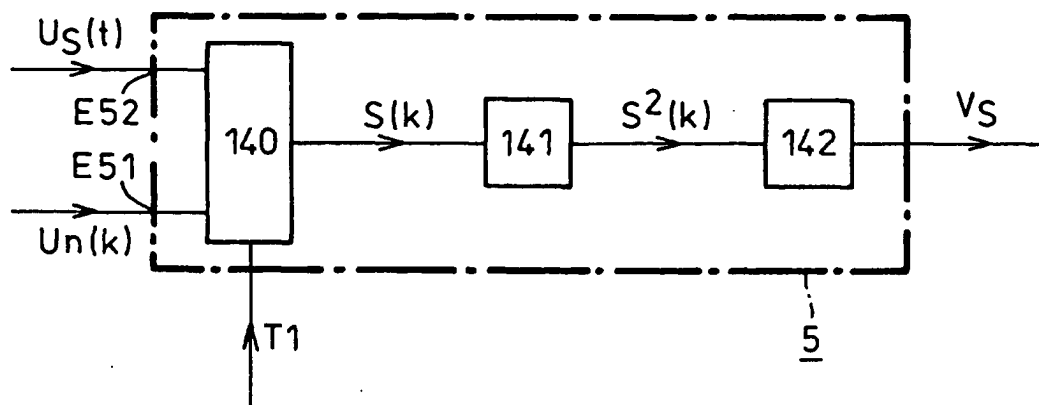


FIG 7

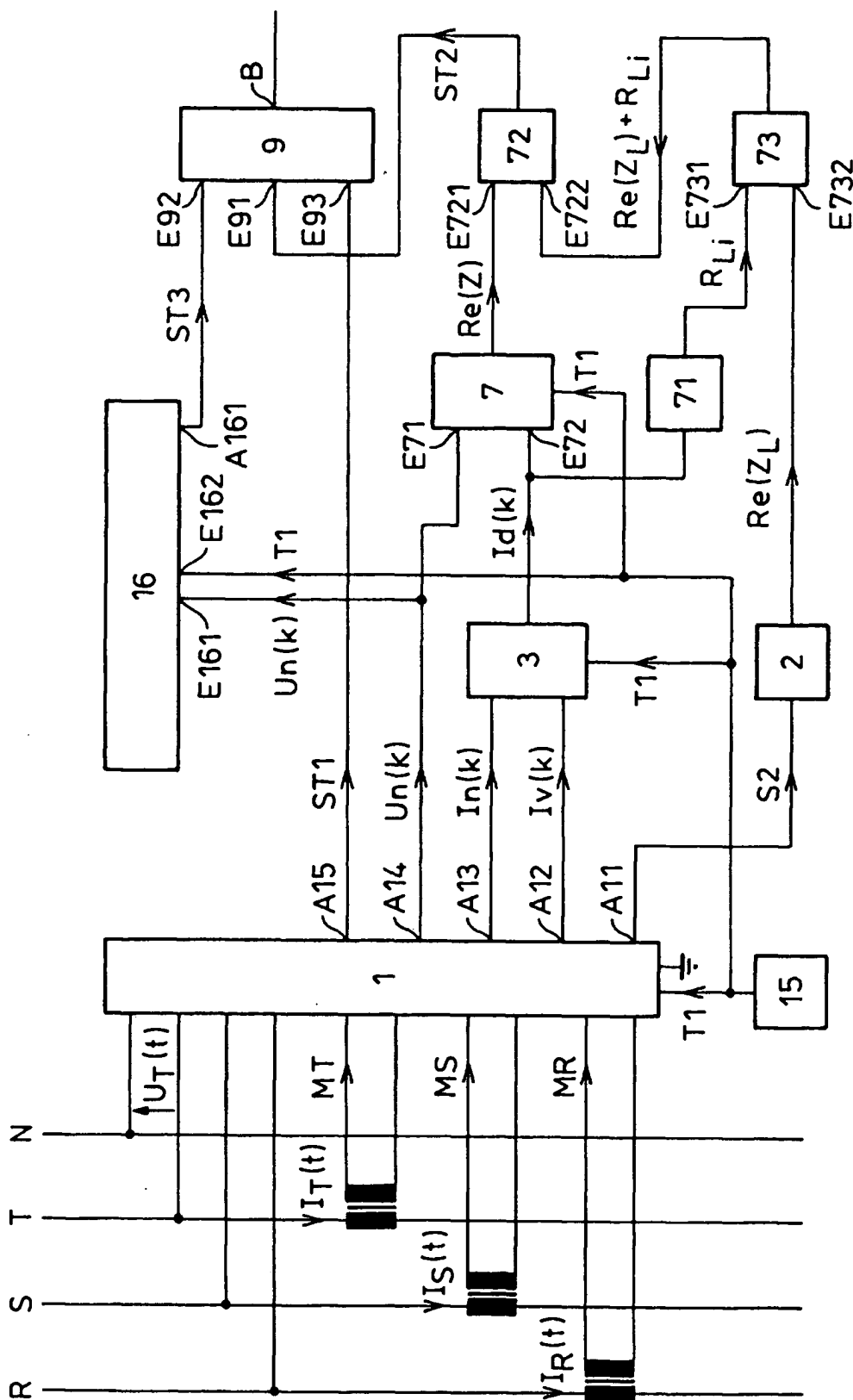


FIG 8

